

Орлов Д.С., Гришина Л.А. Практикум по химии гумуса. М., 1981. 272 с.

Чиндяев А.С., Бирюкова Л.А. Особенности роста сосняков на верховых болотах Среднего Урала/Лесоводственно-экологические и палинологические исследования болот на Среднем Урале. Свердловск, 1990. С. 22–27.

Чиндяев А.С., Бирюкова Л.А., Маковский В.И. Лесоводственно-мелпоративная характеристика стационара "Северный" Уральского лесотехнического института//Лесоводственно-экологические и палинологические исследования болот на Среднем Урале. Свердловск, 1990. С. 3–13.

УДК 631.4

Т.Ф. Коковкина, Л.Г. Бабушкина
(Уральский лесотехнический институт)

ТЕХНОГЕННОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ЛЕСНЫХ ПОЧВ

Исследовано состояние лесных почв под сосновыми насаждениями, подверженными воздействию фторсодержащих поллютантов в районах Полевского криолитового и Богословского алюминиевого заводов. Показаны закономерности накопления фтор-ионов в подгоризонтах лесной подстилки, почве и напочвенной растительности, механизмы миграции и закрепления поллютанта почвой, а также возможность использования напочвенной растительности и коры сосны в качестве надежного индикатора загрязнения лесных экосистем промышленными поллютантами.

В условиях повышенного техногенного воздействия на лесные территории вокруг предприятий по производству криолита и алюминия происходит накопление в лесной подстилке, почве и напочвенной растительности фторсодержащих соединений, обладающих высокой химической и биологической

активностью. Нами в течение ряда лет проводились исследования закономерностей поступления и аккумуляции этого поллютанта в отдельных компонентах лесных биогеоценозов на постоянных пробных площадях (ППП) в районах Полевского криолитового завода (ПКЗ) и Богословского алюминиевого завода (БАЗ).

Все ППП в районе ПКЗ, заложенные на территории Полевского лесхоза в популяциях лесных культур сосны обыкновенной 20...26-летнего возраста, отнесены к одному типу леса – сосняку разнотравному, состав древостоя – 8...10 единиц сосны, полнота – 0,8...0,9, П...Ш класс бонитета. Исключение составляет участок на расстоянии 1,5 км от ПКЗ, который представлен распавшимися лесными культурами сосны. Напочвенный покров – разнотравье; отмечается неравномерная задерненность.

Образцы лесной подстилки, почвы и напочвенной растительности в районе ПКЗ отбирались под пологом леса на ППП, расположенных на расстоянии 1...1,5; 3...3,5; 4...4,5; 7...7,5; 14...15 км от источника выбросов по направлению преобладающих ветров и в 26 км (контроль). По морфологическим признакам и данным химического анализа на ППП представлены типичные почвы данного района: серые лесные разной степени оподзоленности, средние и слабосуглинистые, встречаются дерново-подзолистые и бурые лесные оподзоленные.

В районе БАЗ постоянные пробные площади заложены на территории Краснотурьинского лесничества Карпинского мехлесхоза в популяциях лесных культур и естественных насаждений сосны обыкновенной. Преобладающий тип леса – сосняк-брусничник. Состав древостоя – 6...10 единиц сосны с примесью ели, березы, лиственницы, полнота – 0,5...0,9, возраст древостоя – 25...30 лет, подлесок редкий, состоит из рябины, шиповника, ракитника. Исследования проводились на пяти ППП, расположенных в разных направлениях, на расстояниях 2...4; 5...6; 10; 14 км от источника выбросов. Для ППП, заложенных в районе БАЗ, характерны серые лесные дерново-среднеподзолистые суглинистые почвы, встречаются бурые лесные щебневато-каменистые почвы.

Нами независимо от типа почвы выделяется слой подстилки толщиной 3...4 см. Лесная подстилка на всех ППП по составу идентична (кроме участка на расстоянии 1,5 км от ПКЗ) и состоит преимущественно из хвой сосны, наибольшую долю составляют листья древесных и кустарниковых пород, а также травянистые растения и кусочки коры.

Независимо от состава поступающего поллютанта, типа, физико-химического состояния и геоморфологического положения почв, лесная подстилка и верхние горизонты почвы в первую очередь подвергаются воздействию загрязняющих веществ. Наибольшую опасность представляет увеличение содержания в почве фторидов в доступных для растений формах (Хоземова и др., 1983), так как именно водо- и кислоторастворимые формы в первую очередь доступны растениям.

Являясь легкоподвижным, фтор-ион способен проникать во все горизонты почвенного профиля, но наиболее интенсивно аккумуляция фтора происходит во втором и третьем подгоризонтах лесной подстилки. Так, в АО1 (0...1,5 см), АО2 (1,5...2,5 см) и АО3 (2,5...3 см) на ППП 3 содержание фтор-ионов составляло 115,8, 518,7 и 651,3 мг на 1 кг воздушно-сухого вещества, что на порядок выше, чем в тех же подгоризонтах на ППП 4 и ППП 6 (табл. 1).

В гумусовом горизонте наибольшее содержание водорастворимого фтора отмечено на расстоянии 1,5...3,5 км от источника загрязнения и составляет 20,1...22,5 мг/кг. Вниз по почвенному профилю содержание водорастворимого фтора резко снижается и составляет от единиц до сотых долей миллиграмма на килограмм воздушно-сухого вещества.

Наибольшее содержание фтор-ионов в лесной подстилке и почве под сосновыми насаждениями в районе БАЗ обнаружено на ППП, расположенных в северо-восточном направлении от источника выбросов, и составляет на расстоянии 5...6 км (кв. 95) в горизонтах АО1 517,4 мг/кг. С увеличением расстояния до источника загрязнения на 10 (кв. 84) и 14 км (кв. 40) содержание поллютанта в компонентах лесного биогеоценоза резко снижается и в подгоризонтах АО1, АО2, АО3 оно соответственно в 2,2; 1,6; 1,7; 1,6; 4,4 и 3,2 раза ниже, чем на расстоянии 5...6 км (табл. 2).

Таблица 1

Содержание фтора в напочвенной растительности и лесной подстилке
под основными насаждениями в районе ПКЗ

Расстояние до источника выбросов, км	Содержание фтор-ионов, мг/кг						
	Кора сосны	Вейник наземный	Лист земляники	Снять обыкновенная	АО1 (0...2 см)	АО2 (2...3 см)	АО3 (3...4 см)
	ППП 1						
1,5	1625,0	58,1	92,0	-	1300,0	3263,0	2912,0
3,5	920,0	162,5	32,6	-	205,4	730,6	-
	ППП 2						
4,5	291,2	23,1	25,9	-	103,2	1032,0	1030,0
	ППП 3						
7,5	85,9	-	13,0	20,5	115,8	518,7	651,3
	ППП 4						
15,0	10,3	8,2	2,2	2,1	11,6	13,0	20,5
	ППП 6						
26,0	13,0	3,2	-	2,7	13,0	25,9	-

Таблица 2

Содержание фтора в напочвенной растительности и лесной подстилке
под сосновыми насаждениями в районе БАЗ

Направление и рас- стояние до источни- ка выбросов, км	Содержание фтор-ионов, мг/кг							
	Кора сосны	Кора березы	Мхи	Злаки	Лист черни- хи	АО1 (0... ...1 см)	АО2 12 см)	АО3 23 см)
ППП 1								
Северо-восток, 10	518,1	1032,2	-	145,6	152,1	231,4	205,4	258,7
ППП 2								
Северо-восток, 5...6	730,6	-	1755,0	258,7	183,3	517,4	318,5	410,8
ППП 3								
Северо-запад, 2...4	517,4	2912,0	1032,0	258,7	-	366,6	304,2	304,2
ППП 4								
Юго-восток, 10	231,4	730,6	730,6	205,4	-	108,2	183,3	258,7
ППП 5								
Северо-восток, 14	183,3	291,2	518,1	183,3	103,2	29,1	73,1	130,0

Одним из главных факторов распространения поллютанта является направление господствующих ветров. Сравнивая накопление фторидов в компонентах лесного биогеоценоза на ППП, расположенных на расстоянии 10 км от БАЗ в северо-восточном (кв. 84) и юго-восточном направлениях (кв. 135), можно отметить значительное повышение концентрации фтор-ионов в напочвенной растительности, лесной подстилке, генетических горизонтах почв в северо-восточном направлении от источника загрязнения. Так, содержание фтор-ионов в подгоризонте А01 в 2,2, горизонте А1 – в 1,7, коре сосны и березы – в 2,5 и 1,4 раза выше на ППП, расположенных в направлении господствующих ветров, что в значительной степени сказывается на лесорастительных свойствах почв.

Потенциально опасным является не общее количество фтора в почве, а наличие подвижных форм, способных мигрировать в профиле почв, системах почва – раствор, почва – растение. Попадая в лесные экосистемы с аэротехногенными загрязнителями, фторсодержащие поллютанты проникают в почву, где под воздействием влаги, корневых систем, микробиологических организмов вступают во взаимодействие с почвенными частицами, перераспределяются по компонентам почвы, трансформируясь в другие соединения. Скорость и направленность этих процессов зависят как от физико-химических свойств почвы, так и от растворимости образовавшихся соединений, значения произведения растворимости (ПР) которых меняются в широких пределах: MgF_2 – $7,0 \cdot 10^{-9}$, CaF_2 – $3,2 \cdot 10^{-11}$, LiF_2 – $5,0 \cdot 10^{-3}$, SrF_2 – $2,5 \cdot 10^{-9}$ (Крешков, 1964). Чем ниже значение ПР, тем труднее растворимо соединение. В целом трансформация фторсоединений выражается в относительном уменьшении водо- и кислоторастворимых соединений. Основными агентами поглощения фтор-ионов являются силикаты и свободные оксиды алюминия, железа, кремния, кальция. Возможно прямое замещение фтор-ионами гидроксил-ионов силикатов, свободных гидроксидов и полимеров алюминия, адсорбированных на минералах, и образование нерастворимых фторалюмосиликатов, труднорастворимых фторалюминатов и фторферратов. Фтор-ионы могут осаждаться присутст-

вующими в почвенном растворе ионами железа, алюминия, кальция, образуя труднорастворимые комплексные соединения и прочно закрепляясь почвенными частицами, тем самым снижается миграционная способность фторидов и ограничивается переход их в нижележащие горизонты и сопредельные среды.

Наибольшей сорбционной способностью обладают тонкодисперсные фракции почв. Твердые фазы этих фракций представлены глинистыми минералами, органическими и органоминеральными компонентами, свободными оксидами и гидроксидами металлов. Глинистые минералы могут удерживать фтор-ионы в результате обменного и безобменного поглощения. Почвы, богатые коллоидами (глины), обладают способностью накапливать фтор-ионы. При этом глинистые компоненты сорбируют фториды, образуя как прочные комплексные соединения, так и труднорастворимые соли. При ионном поглощении может происходить анионный обмен OH^- и F^- -ионов, в результате которого гидроксил-ионы вытесняются в почвенный раствор, что снижает концентрацию ионов водорода. Действительно, снижение концентрации H^+ -ионов, например, в подгоризонтах лесной подстилки находится в прямой зависимости от поступления фторсодержащих поллютантов.

Лесная растительность, являясь мощным биологическим аккумулятором питательных веществ и аэротехногенных поллютантов, может служить чувствительным и надежным индикатором, способным сигнализировать о загрязнении природной среды. Как показали результаты наших исследований (см. табл. 1, 2), присутствие фторсодержащих соединений обнаружено во всех растительных образцах: сныти обыкновенной, вейнике наземном, хвоще, мхах, землянике, костянике, а также в коре сосны. Многолетнее воздействие поллютанта на растительность вызвало повышенное содержание фтора во мхах – до 1032 (ПКЗ), 1755 мг/кг (БАЗ) – и в коре сосны по сравнению с содержанием фтора в других видах травянистой растительности.

Наибольшее содержание фтор-ионов в напочвенной растительности в районе ПКЗ обнаружено на расстоянии 1,5 км от источника загрязнения и составляет в вейнике наземном

58,1, в листьях земляники – 92,0, в коре сосны – 1625,0 мг/кг, что соответственно в 18,2; 46 и 125 раз больше, чем на ППП 6, расположенной на расстоянии 26 км от ПКЗ. В районе БАЗ на расстоянии 5...6 км от него в коре сосны содержится 730,6, в листьях черники – 183,3, а в злаках – 258,7 мг/кг фтора.

Ежегодное поступление на почву обогащенного фтором опада поддерживает высокую техногенную нагрузку лесной подстилки. Сравнивая содержание фторидов в напочвенной растительности и в лесной подстилке, следует отметить тенденцию к увеличению концентрации фтора в растительной ткани по мере ее старения и отмирания. Так, содержание фторидов в напочвенной растительности, например, в отмерших частях ветвей наземного на ППП 1 возрастает в 1.3...1.5 раза. Отмечено также, что концентрация фторидов в лесной подстилке повышается пропорционально времени ее нахождения на поверхности почвы.

Анализ содержания фтора в образцах напочвенной растительности и сопоставление содержания с концентрацией поллютанта в лесной подстилке и почве позволили выявить следующее: чем выше степень загрязнения лесных почв, тем большее количество фторидов локализуется в растительности. Это наиболее четко прослеживается на примере мхов и коры сосны. Обращает на себя внимание не только отмеченная положительная корреляция концентраций фторидов в лесной подстилке, почве и напочвенной растительности, но и аналогичная корреляция содержания фтор-ионов в компонентах лесного биогеоценоза и некоторых физико-химических характеристик почв, в частности, pH солевой вытяжки, обменной кислотности и поглощенных ионов кальция. Именно в зоне повышенного техногенного воздействия фторсодержащих поллютантов на компоненты лесного биогеоценоза на расстоянии от 1,5 до 7,5 км от источника загрязнения в подгоризонтах лесной подстилки отмечаются повышение pH солевой вытяжки, снижение обменной кислотности, обусловленной преимущественно ионами водорода, повышение подвижности гумуса и увеличение количества поглощенных оснований (Ca^{2+} и Mg^{2+}), в основном ионов Ca^{2+} , образующих с фтор-ионами труднорастворимые соли.

Таким образом, при попадании с аэротехногенными потоками на поверхность лесных почв фторсодержащие поллютанты вовлекаются в гео- и биохимические циклы, участвуют в горизонтальной и вертикальной миграции. При этом фториды вступают в физико-химические взаимодействия с почвенным поглощающим комплексом, что сопровождается химической трансформацией этих соединений, изменением степени их токсичности. Установлено, что потоку фторсодержащих поллютантов противостоит буферность лесной почвы, препятствующая накоплению подвижных форм фтора. Однако повышение техногенной нагрузки на лесные почвы в районах ПКЗ и БАЗ ведет к дальнейшему изменению физико-химических свойств почв и в конечном итоге к их деградации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Крешков А.П. Основы аналитической химии. М., 1964. 635 с.

Хоземова Л.А., Радовская А.В., Круглова Н.В. Определение фтора в растительном материале//Агрохимия. 1983, № 6, С. 66-72.

УДК 631.4+582.2

Н.М. Шебалова, Л.И. Королева, Л.А. Коваленко
(Уральский лесотехнический институт)

ФЕРМЕНТАТИВНАЯ АКТИВНОСТЬ ЛЕСНОЙ ПОДСТИЛКИ И ПОЧВЫ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОСТОЯНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЧВ

Установлено, что характер распределения активности ферментов в профиле почв неодинаков и зависит от концентрации накапливаемого фтор-иона. Чем выше концентрация фтор-иона, тем выше активность энзимов.